

ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS

Paulina Faria

Eng. Civil, Prof. Associada,
Dep. Eng. Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
Portugal

SUMÁRIO

As argamassas são produtos muito utilizados tanto em construção nova como na reabilitação do edificado existente. Devido aos elevados volumes consumidos (e que, nomeadamente em Portugal se deveriam consumir para reabilitar tantas fachadas atualmente com revestimento por rebocos ineficientes), a aspetos económicos e técnicos envolvidos, é importante que se adotem medidas no sentido de diminuir o impacto ambiental das argamassas, aumentando a sua sustentabilidade.

Neste artigo procuram apresentar-se os materiais constituintes das argamassas, chamando a atenção para os mais sustentáveis do ponto de vista da energia e recursos naturais incorporados, e ainda para aqueles que contribuem para a maior durabilidade das argamassas, sem colocar em causa a necessária proteção dos suportes onde estas são aplicadas (contribuindo efetivamente para a proteção destes). São também referidas como sustentáveis argamassas que, pela sua constituição, possam contribuir mais significativamente para o conforto higrotérmico dos edifícios.

Apresentam-se genérica e comparativamente os níveis de características obtidas com cada tipo de argamassas, em função principalmente do tipo de ligante, e a evolução que, ao nível da investigação de apoio à indústria e aos licenciadores, tem ocorrido nesta área.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas são dos produtos mais utilizados na construção. Em construção nova, são utilizadas essencialmente no assentamento de alvenarias, em rebocos (interiores e exteriores) de paredes e de tetos, no tratamento de juntas (de alvenaria e entre ladrilhos), em camadas de enchimento, de regularização ou de revestimento de pavimentos e de coberturas. Também são muito utilizadas na execução de elementos construtivos, como por exemplo de lajetas. Quando aplicadas em camadas de pavimentos designam-se como betonilhas. Na conservação e na reabilitação de construções existente são também utilizadas para reparação de anomalias em elementos estruturais e em revestimentos, na substituição de rebocos que já não desempenham eficazmente o seu papel de proteção dos suportes, no tratamento de juntas que estejam ineficientes, entre outras aplicações.

As características que se pretendem para as argamassas dependem do tipo e aplicação a que estas vão ser sujeitas. Enquanto em aplicações em rebocos o controlo da fendilhação é um requisito importante [Veiga e Faria, 1990], já em camadas de enchimento em pavimentos pode ser um requisito mais importante apresentar um determinado nível de resistência mecânica.

No entanto, a função das argamassas é quase sempre a de constituírem uma camada ou de alguma forma contribuírem para a proteção dos suportes. Daí que a sua sustentabilidade possa ser vista em termos da sua contribuição efetiva para essa proteção, uma vez que a sua ineficácia pode traduzir-se numa redução da vida útil desses suportes. Por outro lado, o aumento da vida útil da argamassa em funções e a sua própria durabilidade contribui também para a sua durabilidade. Sendo todos os impactos ambientais associados à produção e aplicação das argamassas divididos pela sua vida útil, em condições de cumprir o fim para o qual foi destinada, uma argamassa com uma vida útil longa protegendo efetivamente o suporte (e aumentando também a vida útil deste) constitui por si só uma argamassa muito sustentável. E em edifícios antigos existem ainda atualmente muitos testemunhos de argamassas com centenas de anos, executadas com materiais locais, técnicas tradicionais e compatíveis com os respetivos suportes e tipos de aplicação, com as quais temos muito a aprender [Faria et al., 2010]

Podem ser utilizadas argamassas realizadas em obra, com base em materiais fornecidos diretamente (essencialmente ligantes e agregados), ou argamassas pré-doseadas de fábrica que, para além dos constituintes correntes, contêm geralmente também adições e adjuvantes. Estas últimas chegam geralmente à obra em saco ou silo, prontas a amassar e aplicar. Com base nos adjuvantes que contêm, podem muitas vezes simplificar alguns dos cuidados com que as tradicionais (de obra) têm de ser executadas. Por exemplo, no caso dos rebocos, adjuvantes promotores de aderência podem obviar a aplicação de salpisco ou crespido, retentores de água podem aligeirar cuidados relativos à molhagem do suporte e/ou a necessidade de aspersão e sombreamento para melhorar as condições de cura das camadas, plastificantes podem permitir a aplicação de argamassas com baixa relação água/ligante, de que resultam argamassas mais compactas.

As argamassas pré-doseadas possibilitam uma maior constância de qualidade das argamassas e um maior conhecimento das características obtidas quando aplicadas sobre suportes correntes. Para aplicações sobre suportes diferentes dos correntes por vezes é necessário verificar a adequabilidade das argamassas pré-doseadas, uma vez que podem existir casos para os quais já existam produtos desenvolvidos e outros para os quais os existentes não sejam adequados. Efetivamente, na construção cada caso é um protótipo.

Em obras de conservação muitas vezes é possível prescrever, para determinados trabalhos específicos, argamassas de dosagens muito precisas, com constituintes extremamente bem doseados. Mas esta não é a situação das obras correntes.

Antigamente (há registos pelo menos desde o período Romano) era corrente a utilização de pozolanas nas argamassas. Essa utilização caiu em desuso durante muito tempo mas atualmente a utilização de pozolanas é corrente na produção de cimentos (pozolânicos) e começa também a surgir em argamassas, resultando da investigação de diversos técnicos.

Por vezes as argamassas são pigmentadas, sendo esse outro tipo de constituinte.

De qualquer modo, todas as argamassas são efetuadas com base em ligantes e agregados. Devido ao grande volume necessário de argamassas, podem colocar-se questões importantes ao nível da sustentabilidade.

2. MATÉRIAS-PRIMAS

2.1. Ligantes

Os ligantes mais correntes em argamassas são os cimentos e as cais. Entre estas existem as cais aéreas e as cais com propriedades hidráulicas. Tradicionalmente, em camadas de acabamento de rebocos interiores é também utilizado o gesso; atualmente este ligante pode ser utilizado em argamassas pré-doseadas, geralmente em conjunto com outros ligantes. Como ligante não corrente, mas que foi o primeiro ligante a ser utilizado, temos o caso da argila.

2.1.1. Cimentos

O cimento mais corrente é o Portland. É produzido a partir de marga calcária, a temperaturas normalmente da ordem dos 1300-1500°C. Para além deste tipo de cimento, são produzidos muitos outros tipos, nomeadamente cimento branco e cimentos pozolânicos. Nos cimentos pozolânicos uma pequena parte do clínquer pode ser substituído por pozolanas; algumas pozolanas podem ser mais correntes, como é o caso das cinzas volantes, enquanto outras podem ser menos convencionais e igualmente sustentáveis, como é o caso dos zeólitos exaustos [Su et al., 2000].

O cimento branco possibilita a obtenção de argamassas pigmentadas, através de uma escolha criteriosa de agregados e da utilização de pigmentos.

Os cimentos mais correntes são classificados de acordo com a norma EN 197-1:2011 [CEN, 2011]; para aplicações específicas em alvenarias, de acordo com a norma NP EN 413-1:2011 [IPQ, 2011]. Embora este ligante necessite de mais energia para a sua produção que as cais, devido às elevadas temperaturas e moagem necessárias, tem vindo a ser feito um esforço significativo por parte da indústria cimenteira no sentido da utilização de combustíveis alternativos, com vista à diminuição do impacto energético associado à produção do cimento.

2.1.2. Cais

As cais podem ser aéreas ou de comportamento hidráulico. De acordo com a nova versão da norma NP EN 459-1: 2011 [IPQ, 2011], as cais de construção, as cais aéreas classificam-se como cálcicas (CL) ou dolomíticas (DL). Já as cais com propriedades hidráulicas podem classificar-se como cais hidráulicas naturais (NHL), cais hidráulicas (HL) ou cais formuladas (FL). Cada uma destas famílias tem de respeitar determinados parâmetros, nomeadamente ao nível do teor em hidróxido de cálcio livre, sulfatos e adições permitidas.

As cais aéreas são produzidas a partir de rocha calcária pura ou de calcários magnesianos; as cais hidráulicas naturais são produzidas a partir de calcários com alguma percentagem de argila mas não podem conter outras adições. Ambas estas cais são produzidas à temperatura máxima de calcinação da rocha de 800-900°C. A rocha calcária (carbonato de cálcio), ao ser cozida e transformada em óxido de cálcio, liberta dióxido de carbono para o ambiente; em contacto com a água transforma-se em hidróxido de cálcio; quando de novo em contacto com o ar ambiente, o hidróxido de cálcio carbonata, absorvendo de novo a parcela equivalente ao dióxido de carbono que tinha libertado.

A produção destas cais pode ser artesanal ou desenvolver-se industrialmente. Em Portugal já se regista muito pouca produção artesanal mas ainda se conseguem, em algumas regiões, encontrar produtores artesanais de cal viva (óxido de cálcio). Esta cal viva é comercializada em pedra e tem de ser extinta antes de ser utilizada como ligante. É normalmente extinta em água abundante, para produção de uma pasta que se deposita sob uma camada de água de cal.

Em regiões onde existe abundância de conchas, este resíduo pode ser utilizado como matéria-prima para a produção da cal. A produção de cal aérea a partir de conchas resulta de uma valorização desse resíduo, com redução da necessidade de consumo de recursos naturais – no caso, rocha calcária – para a produção do ligante [Campos et al., 2007].

Já as cais hidráulicas (não naturais) e as cais formuladas podem conter algumas adições (tal como gesso, filleres ou clinquer do cimento Portland) e são geralmente produzidas a temperaturas superiores.

As cais aéreas cálcicas são brancas, enquanto as dolomíticas têm geralmente uma cor ligeiramente mais escura. As cais aéreas naturais, embora mais escuras que as cais aéreas, são geralmente mais claras que as cais hidráulicas e que os cimentos Portland.

As argamassas com base em cal aérea são facilmente pigmentáveis.

Em termos de sustentabilidade, as cais aéreas ou hidráulicas naturais necessitam de menor consumo de energia para a sua produção comparativamente às cais hidráulicas ou formuladas e aos cimentos.

2.1.3. Gessos

Os gessos são também um ligante mineral resultante de cozedura da pedra de gesso a temperatura bastante baixa, comparativamente à de outros ligantes minerais. Noutros países o gesso era tradicionalmente utilizado em revestimentos exteriores, mas depois de submetido a calcinação a temperaturas muito mais elevadas que a necessária para a sua desidratação (caso, por exemplo, do designado “gesso de Paris”). No entanto, em Portugal e em países de lusófonos só é tradicionalmente utilizado em camadas de acabamento de revestimentos interiores de paredes. Nos revestimentos tradicionais de gesso, de espessura fina, utilizam-se geralmente apenas agregados muito finos e por vezes a cal é incorporada como retardador de presa [Malta da Silveira et al., 2007]. Os revestimentos com base em gesso apresentam um papel de reguladores da humidade ambiente e ainda de isolamento face a situações de incêndio, que se deve à capacidade do gesso captar e libertar, fácil e sucessivamente, moléculas de água do ar ambiente.

2.1.4. Argilas

A argila dos solos (da terra) possui propriedades aglutinantes e foi muito utilizada no passado. Existem testemunhos desde períodos pré-históricos [Bruno & Faria, 2010; Bruno et al., 2010]. Muitas construções vernaculares existentes em Portugal ainda possuem pavimentos térreos em terra batida a maço e rebocos de argamassa de terra argilosa. Estes rebocos de terra eram aplicados sobre paredes também com base em terra, construídas em alvenaria de adobe, paredes de taipa ou constituindo tabiques. Normalmente neste tipo de construções os principais problemas ocorrem quando os revestimentos de argamassas de terra são substituídos por argamassas de ligantes hidráulicos e nomeadamente de cimento [Gomes & Faria, 2011].

Em países desenvolvidos, os rebocos de terra voltaram a estar na ordem do dia, por serem produzidos a partir do ligante mais sustentável de todos, único que não necessita de processamento industrial (todos os outros necessitam de cozedura a temperatura mais ou menos elevada). Mas muitas vezes as técnicas têm de ser reaprendidas. Em muitos países menos desenvolvidos, estes rebocos nunca deixaram de ser aplicados e as técnicas de aplicação mantêm-se ativas e conhecidas, passando de mestres para mestres, de geração para geração; países mais desenvolvidos recorrem frequentemente aos conhecimentos desses mestres para reaprenderem as técnicas das argamassas com base em terra.

Os problemas principais que se colocam a estas argamassas prendem-se com o equilíbrio e controlo da retração, devida ao teor em argila, versus a capacidade de aderência do reboco ao suporte e entre camadas. Existe investigação em curso nesta área [Gomes et al., 2012a; 2012b; 2012c], que se espera vir a ampliar. Por vezes a terra argilosa não é introduzida como ligante mas como agregado, apresentando no entanto um comportamento misto. Se calcinada, pode até funcionar como uma pozolana que, em argamassas mistas de terra e cal aérea, reage com o ligante propriamente dito [Budak et al., 2012]. As argamassas com base em terra podem conter como ligante, para além da terra, também cal aérea.

2.2. Pozolanas

As pozolanas são materiais constituídos por sílica e alumina amorfa (não cristalina), com elevada superfície específica e que, em presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio dos ligantes, produzindo compostos hidratados [Charola et al., 2005]. A norma NP 4220 [IPQ, 2010] especifica a sua aplicação em argamassas (e em caldas e betões). Quando aplicadas em argamassas de cimento, a reação pozolânica provoca a fixação do hidróxido de cálcio que estava livre, aumentando a sua durabilidade; em argamassas de cals aéreas, fazem com que estas adquiram características hidráulicas, passando a cura a ocorrer não apenas por carbonatação (do hidróxido de cálcio da cal em contacto com o dióxido de carbono do ambiente) mas também por hidratação (do tipo que ocorre em argamassas de ligantes hidráulicos). Para além de uma alteração da cura e da aceleração do endurecimento a idades jovens, estas argamassas adquirem resistências mecânicas geralmente mais elevadas e maior durabilidade.

As pozolanas podem ser naturais – resultando da moagem de lavas vulcânicas meteorizadas, como as que existem em Cabo Verde, especialmente na ilha de Santo Antão – ou artificiais. Neste caso podem resultar de subprodutos industriais – caso das cinzas volantes resultantes da queima de combustível nas centrais termoelétricas, de zeólitos exaustos de refinarias, de algumas cinzas de biomassa utilizada como combustível (de cinzas de casca de arroz ou outros cereais, de cana de açúcar, entre outros), de resíduo de vidro [Idir et al., 2010], de resíduos cerâmicos (com forte teor em sílica e alumina amorfa) –, que apenas devem ser moídas, para resultarem em produtos com elevada superfície específica; podem ainda resultar de argilas especificamente sujeitas a tratamento térmico e moagem – caso dos metacaulinos, resultantes da cozedura a temperaturas da ordem de 600°C de caulinos [Faria, 2004] e de outras argilas pouco expansivas. Muitas das pozolanas conferem ainda características técnicas específicas, nomeadamente melhorando a durabilidade das argamassas [Faria, 2009].

Portugal é rico em caulinos e estes também podem ser obtidos como resíduo resultante da lavagem de areias caulínicas. Os metacaulinos são atualmente das pozolanas mais reativas que se produzem e os compostos formados na reação pozolânica podem ser determinados [Gameiro et al., 2012a, 2012b]. No entanto, a constituição dos caulinos e o tratamento térmico a que são sujeitos (em termos de curva de temperatura - temperatura máxima, período de tempo a essa temperatura e tipo de arrefecimento), conduzem a metacaulinos com reatividades muito distintas [Velosa et al., 2009]. E o mesmo se passa relativamente a outros tipos de pozolanas, como por exemplo as cinzas de casca de arroz ou outras argilas [Almeida et al., 2008]. A reatividade de pozolanas, e a aplicabilidade de determinados materiais como tal, pode ser avaliada a partir de vários métodos [Pontes, 2011], sendo um dos mais frequentes o ensaio de Chapelle [Ferraz et al., 2012].

A utilização de pozolanas em argamassas foi utilizada de forma explícita e registada pelo menos desde o período Romano. Eram utilizadas pozolanas naturais onde estas existiam; onde não existiam jazidas de lava vulcânica era correntemente utilizado, como pozolana artificial, pó de cerâmica de barro vermelho [Velosa, 2007].

As pozolanas podem ser utilizadas nas argamassas substituindo parcialmente o teor em ligante. Dessa forma, a utilização de um produto (ligante) que é obtido industrialmente por processamento de recursos minerais naturais pode ser minorada pela sua substituição parcial por outro material resultante da valorização apenas por moagem de um resíduo (pozolana artificial de subproduto) ou da valorização por moagem e calcinação, a temperatura

inferior à que seria necessária para a produção do ligante que vai substituir (pozolana artificial especificamente produzida). A utilização como pozolana de subprodutos industriais tem ainda a vantagem da sua reintrodução no processo produtivo e a redução de volumes a depositar em aterro.

2.3. Agregados

Os agregados das argamassas são geralmente areias. As mais correntes são siliciosas mas podem ser utilizadas areias de outras constituições mineralógicas (calcárias, graníticas, basálticas) e, nomeadamente, resultantes de subprodutos da exploração e preparação de rochas. As areias siliciosas podem ser lavadas ou conter algum teor em argila. O teor em argila pode introduzir vantagens mas também desvantagens ao nível de uma maior propensão para a retração das argamassas, e tal estará também dependente do tipo de argila presente (uma vez que existem argilas muito mais expansíveis que outras).

Os agregados correntes podem também ser utilizados em paralelo com resíduos. Com efeito, também pelo menos desde o período Romano surgem registos e testemunhos de argamassas com agregados resultantes de resíduos de cerâmica de barro vermelho com dimensões apreciáveis [Velosa et al., 2007; Matias et al., 2012]. São também muito tradicionais em Portugal revestimentos de paredes e de pavimentos de marmorite, em que são utilizados agregados especificamente escolhidos pela sua granulometria, forma e cor. Entre eles são correntes agregados de vidro, de cores e dimensões diversas. Sendo as embalagens de vidro um resíduo com dificuldade de reciclagem industrial em muitos países lusófonos, esta utilização pode ser um meio de conduzir à redução do volume a depositar em aterro e à redução do consumo de recursos naturais, para além de poderem constituir revestimentos com desempenho e aspeto estético muito interessante.

Muitos outros resíduos estão a ser estudados com vista à sua incorporação em argamassas, e redução dos volumes para deposição em aterro, bem como com vista à melhoria das características dessas mesmas argamassas. São o caso, por exemplo, de resíduos de borracha de pneus, cuja utilização pode ser viável e interessante de alguns pontos de vista, para algumas argamassas e tipos de aplicação. Outra hipótese é a introdução de resíduos de cortiça [Frade et al., 2012]. Em percentagens elevadas, pode levar a melhorias do ponto de vista térmico. Sem serem resíduos mas do mesmo modo substituindo os agregados correntes e contribuindo para a sustentabilidade térmica encontram-se as argamassas em que o agregado é maioritariamente constituído por granulado de EPS [Gonçalves et al., 2012].

Também a incorporação de resíduos de construção e demolição, classificados como “inertes” pode ser uma via para o escoamento deste tipo de RCD [Silva et al., 2009, 2010; Barra et al., 2012]. Outros estudos têm vindo a ser efetuados com a introdução de resíduos de embalagens de plástico [Saikia et al., 2012].

Em argamassas normalmente a dosagem em ligante visa preencher o volume de vazios deixado livre pelos agregados. Dessa forma interessa utilizar agregado (ou mistura de agregados) com curva granulométrica extensa, de modo que, sucessivamente, existam partículas com dimensão tal que preencham os espaços deixados pelas partículas de maior dimensão.

A substituição parcial de agregados correntes, especificamente extraídos como recurso natural, por outros resultantes de subprodutos ou resíduos industriais, tem também muitas vantagens ao nível da sustentabilidade – quer pela redução de consumo de recursos naturais, quer pela diminuição energética ao nível da exploração e transporte, quer ainda pela redução de resíduos a depositar em aterro.

2.4. Fillers e fibras

Em determinadas situações pode também ser interessante a utilização de fillers, partículas não reativas mas de pequena dimensão, que podem ter influência nas propriedades das argamassas, especialmente reológicas, enquanto frescas, e ao nível da estrutura porosa, e respetivas resistências mecânicas, quando endurecidas. O pó de pedra, um subproduto da indústria da transformação da pedra, é um exemplo [Corinaldesi et al., 2010].

A introdução de fibras animais e vegetais em argamassas foi utilizada no passado. Nos últimos tempos tem vindo a ser estudada com vista ao aumento da resistência à tração e consequente minoração da propensão para a fendilhação das argamassas [Veiga, 1997]. Também a introdução de fibras resultantes de subprodutos industriais (nomeadamente da indústria têxtil) poderá ter viabilidade técnica [Gonilho-Pereira et al., 2012].

2.5. Pigmentos

Os pigmentos são produtos naturais ou mais industriais que se destinam a conferir cor às argamassas. Só argamassas claras (com ligante de cor clara) resultam aos serem pigmentadas.

Os pigmentos podem resultar diretamente de terras (argilas) coloridas, apenas moídas, de terras coloridas calcinadas e moídas ou serem produzidos industrialmente (produtos químicos). Para além de conferirem cor, funcionam geralmente também como um filler, embora a sua percentagem de aplicação seja geralmente baixa.

2.6. Adjuvantes

Os adjuvantes são normalmente produtos químicos mas que por vezes atuam em termos físicos (como é o caso dos introdutores de ar); podem ser incorporados nas argamassas em dosagens muito pequenas (da ordem dos 0,3 a 5 % da massa do ligante ou da massa dos constituintes secos). Um mesmo produto pode desempenhar simultaneamente diversas funções. Algumas dessas funções têm interesse apenas enquanto a argamassa está fresca, enquanto outras pretende-se que se prolonguem ao longo da vida útil das argamassas. Podem ser sintéticos ou orgânicos tradicionais [Ventola et al., 2011]. Estes últimos eram tradicionalmente utilizados em argamassas com base em cal, nomeadamente gorduras animais, leite, açúcar, sangue, mucelagem de cacto, entre outros. Podem ter influência específica, quer ao nível das argamassas frescas, quer do produto endurecido. Tais como os pigmentos, devido à necessária precisão na sua dosagem, só são aplicados em argamassas pré-doseadas ou em argamassas muito específicas, para conservação, e muito raramente em argamassas correntes de obra.

3. CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS

Algumas das matérias-primas descritas podem ser combinadas em diferentes proporções, resultando em argamassas de características muito distintas. No mínimo as argamassas têm de ser constituídas por um ligante e um agregado, misturados com água.

As argamassas de cimento adquirem rapidamente elevadas resistências mecânicas que podem ser muito interessantes para determinadas aplicações mas que podem ser prejudiciais noutras aplicações. Normalmente têm reduzida permeabilidade ao vapor de água, podendo funcionar de algum modo como uma barreira ao vapor, face à permeabilidade ao vapor de outras camadas constituintes do suporte.

A utilização de resíduos de borracha de pneus pode conferir uma redução da rigidez importante a este tipo de argamassas [Pedro et al., 2012; Fioriti et al., 2012]. A utilização de resíduos de fibras da indústria têxtil pode também ser uma mais valia [Gonilho-Pereira et al., 2012]. A utilização de RCD, como referido anteriormente, pode ser uma via para o escoamento deste tipo de resíduos.

Muitas vezes utilizam-se argamassas bastardas, em que o ligante é o cimento e a cal aérea. Dessa forma as características obtidas são uma média entre as relativas a cada um dos ligantes separadamente.

As argamassas de cais com propriedades hidráulicas podem constituir argamassas semelhantes às bastardas de cimento e cal aérea mas excluindo a introdução do cimento. No entanto, e particularmente as de cais hidráulicas naturais, espera-se que constituam argamassas que não libertem sais solúveis (como sucede com a utilização de cimentos e de outras cais hidráulicas) e que sejam compatíveis com muitos tipos de suportes. No entanto, e nomeadamente ao nível das cais hidráulicas naturais portuguesas NHL5 e NHL3.5, que tiveram de ser formuladas para ser classificadas como tal de acordo com a nova versão da norma das cais de construção [IPQ, 2011], têm vindo a ser desenvolvidos estudos recentes com vista à avaliação das características obtidas com estes tipos de cais em argamassas. Um desses estudos pode ser visualizado através de poster desta conferência [Grilo e Faria, 2012].

Também as características obtidas por argamassas constituídas por cal hidráulica natural NHL5 e pozolanas comerciais têm vindo a ser avaliadas [Faria et al., 2012a], demonstrando a influência prioritária das condições de cura e do tipo de pozolana, mas esta com menor incidência. Enquanto a utilização de um metacaulino demonstra uma maior resistência à ação de sulfatos face à utilização de outras pozolanas, de entre as analisadas, condições de cura húmida (90% de humidade relativa HR) conduzem a características significativamente melhores que as obtidas pelas mesmas argamassas sujeitas a cura a 65% de HR. Comparativamente a estudos anteriores, as

argamassas com a nova NHL5 revelam características distintas das argamassas realizadas com a antiga NHL5 (agora HL5) do mesmo produtor.

As características obtidas pelas argamassas de cais hidráulicas naturais podem ser comparadas com as obtidas por argamassas de cal aérea com metacaulino como pozolana [Faria et al., 2012b]. Como referido anteriormente, este tipo de argamassas constituídas apenas por ligante aéreo adquirem características hidráulicas devido à reatividade pozolânica do metacaulino.

Nas argamassas de cais aéreas podem ser utilizados com sucesso metacaulinos, sepiolite [Andrejkovicova et al., 2011], zeólitos [Andrejkovicova et al., 2012], resíduos de cerâmica [Matias et al., 2012], cinza de casca de arroz [Almeida et al., 2010; Billong et al., 2011], cinza de cana de açúcar [Cordeiro et al., 2008]. No caso de se utilizarem pozolanas tem de se garantir que a cura das argamassas, e nomeadamente de cal aérea, não seja demasiado seca [Faria e Martins, 2011].

Quase no extremo oposto às argamassas de cimento encontram-se as argamassas só de cal aérea, que adquirem resistências mecânicas lentamente e apenas quando em contacto com o dióxido de carbono [Faria et al., 2008]. No entanto, constituem camadas muito permeáveis ao vapor de água e compatíveis com suportes de mais baixas resistências.

Em Faria e Henriques [2004] e Faria et al. [2007] comparam-se algumas características de argamassas correntemente aplicadas em edifícios dos tipos das anteriormente referidas.

As argamassas de terra podem ser consideradas mesmo no extremo oposto, face às de cimento. Estas argamassas foram tradicionalmente utilizadas como camadas de reboco sobre paredes de taipa ou de alvenaria de adobe, ou constituindo grande parte de paredes leves de tabique. A tendência atual é na constituição de argamassas mistas de terra e de cal aérea, considerando este o ligante mais compatível com a terra, de entre os correntes. Existem argamassas de terra pré-doseadas comercializadas em alguns países desenvolvidos. Em Portugal existe já alguma investigação realizada e que se pretende continuar, nomeadamente ao nível de argamassas para reparação de paredes de terra antigas [Gomes et al., 2011; 2012a; 2012b; 2012c; 2012d] e ao nível da otimização de argamassas mistas de cal e terra [Faria, 2005]. As argamassas com base em terra cumprem a sua função de proteção dos suportes mas a sua durabilidade deverá ser otimizada. No entanto, de avaliações já efetuadas, a aderência da argamassa de terra ao suporte de terra depende em larga escala do tipo de terra, sendo a sua estabilidade muito melhorada quando se trata do mesmo tipo de terra.

4. DISCUSSÃO

É muito importante adequar as argamassas às regiões, ao seu clima e às suas especificidades construtivas, nomeadamente utilizando materiais locais [Faria et al., 2011].

Nas características de quase todos os tipos de argamassas constata-se que a influência do suporte sobre o qual vão ser aplicadas é fundamental nas características finais dessas argamassas. O tipo e estado do suporte e a cura das argamassas vão condicionar as suas características, por vezes até com maior influência que a própria constituição e dosagem. Dai que estudos que de alguma forma incluam a influência do suporte e da cura em situações reais sejam fundamentais [Veiga, et al., 2009].

Veiga et al. [2010] define gamas de valores para determinadas propriedades de argamassas aos 90 dias de idade, com vista à sua aplicabilidade em edifícios antigos. As normas EN 998-1 e EN 998-2 [CEN, 2010a; 2010b] definem também algumas gamas de valores para argamassas a serem aplicadas em determinados tipos de obras e de aplicações específicas. Muitas vezes essas gamas definem valores limites inferiores e superiores, para assegurar a compatibilidade a cada especificidade de aplicação.

Essas gamas não contemplam muitos aspetos relacionados com ações agressivas diretas. A durabilidade das argamassas a ações agressivas dos sais solúveis, à ação do gelo/degelo ou à colonização biológica devem também ser consideradas [Botas et al., 2011a, 2011b; Faria, 2005, 2009; Henriques et al., 2005, 2007].

Finalmente, as camadas aplicadas sobre as argamassas constituindo revestimentos de pintura aplicados sobre rebocos devem ser consideradas e compatibilizadas com as características pretendidas para todo o conjunto [Brito et al., 2011], de modo a não funcionarem como barreiras à permeabilidade ao vapor, especialmente prejudicial no caso de paredes de elevada porosidade.

No caso de revestimentos de argamassas com valor patrimonial (artístico e/ou técnico) que se encontrem com falta de coesão ou em risco de destacamento - que há algumas décadas eram intervencionadas através de técnicas dispendiosas e que vieram a revelar-se muitas vezes incompatíveis -, interessa que estes possam ser conservados

por consolidação e readesão com produtos sustentáveis. Vários estudos têm também vindo a ser realizados nesta área [Borsoi et al., 2012], com vista a aumentar a vida útil e a preservação para as gerações futuras deste património arquitetónico.

5. CONCLUSÕES

Em termos da sustentabilidade da construção, e nomeadamente ao nível das argamassas, a maior tendência tem ocorrido no sentido da reaprendizagem de tecnologias antigas, que utilizavam ligantes com necessidade de menores consumos de energia para a sua produção e que incorporavam resíduos como pozolanas e agregados. No entanto, e em virtude da existência e do conhecimento das características de muitos mais subprodutos e resíduos, muitos outros têm vindo a ser incorporados em argamassas, sendo as características das respetivas argamassas conhecidas e otimizadas.

Considera-se que a tendência de incorporar em argamassas materiais menos consumidores de energia e de recursos naturais para a sua produção e transporte, e de mais resíduos e subprodutos industriais, vai continuar. Para tal conta-se com a contribuição de numerosos investigadores em Portugal, pelo mundo lusófono e não só.

Da mesma forma, a formulação e aplicação de argamassas que efetivamente desempenhem a função principal de proteção dos suportes para a qual foram concebidas, aumentando a vida útil destes, contribui para a sustentabilidade da construção. E por vezes esta função só consegue ser desempenhada por argamassas com durabilidade intrínseca não muito elevada; mas a durabilidade dos suportes deve nesses casos sobrepor-se à durabilidade das argamassas isoladamente. E a própria durabilidade de argamassas de rebocos pode ser sustentavelmente preservada ou, pelo menos, ampliada.

Em virtude dos elevados volumes de argamassas consumidos, particularmente em países em franco desenvolvimento (como são vários dos países lusófonos), mas também das necessidades sentidas de reabilitação de países mais envelhecidos (como é o caso de Portugal), admite-se que a investigação nesta área, que apoie as indústrias produtoras de argamassas pré-doseadas, poderá ser uma grande mais valia ao nível da sustentabilidade da construção.

Devido ao interesse de adequar as argamassas às regiões onde vão estar aplicadas, é importante que todos os países e regiões avaliem quais os resíduos e/ou subprodutos que produzem, para se avaliar a sua potencialidade para incorporação em argamassas - por um lado, para obviar ao seu depósito em aterros ou em utilizações menos nobres; por outro lado, para contribuir para o melhor desempenho técnico das argamassas, conduzindo a um melhor e mais durável desempenho das funções para as quais devem ser aplicadas; ainda para a economia das argamassas; finalmente, como contributo para a sustentabilidade dessas argamassas e das construções em geral.

6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se a disponibilização ao longo de anos de materiais para a realização de estudos de argamassas a diversas empresas, entre elas a Fradical, a Imerys, a Lusical, a Lusoceram e a Secil. Agradece-se atualmente o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia através dos projetos METACAL (PTDC/ECM/100431/2008) e LIMECONTECH (PTDC/ECM/100234/2008). Agradece-se ainda a colaboração, ao longo dos anos e na área das argamassas sustentáveis, de diversos estudantes, muitos dos quais atualmente Engenheiros Cívicos, Mestres e Doutores, alguns dos quais já colegas, Ana Brás, Ana Filipa Cruz, Ana Martins, Ana Tomás, André Bandeira, André Cardeira, Catarina Patrício, Duarte Mergulhão, Francisco Nogueira, Gina Matias, Hugo Silva, Idália Gomes, João Carneiro, João Grilo, João Pedro Pinto, Jorge Pontes, Luís Madalena, Luís Vaz, Márcio Leal, Miguel Borba, Miguel Teixeira, Nuno Almeida, Nuno Dias, Nuno Felgueiras, Nuno Pereira, Patrícia Bruno, Patrícia Carvalho, Patrícia Pascoal, Paula Albuquerque, Pedro Jesus, Pedro Vinagre, Ricardo Vieira, Rodrigo Massena, Rosario Madrid, Rui Antunes, Sofia Cruz, Sofia Ratão, Sónia Robalo, Teresa Barbosa, Tiago Ferreira, Tiago Duarte, Tiago Branco, Vanda Trindade, Vânia Brito, e a partilha de resultados e discussões frutuosas tidas nesta área com colegas de várias instituições, Ana Luísa Velosa, André Gameiro, António Santos Silva, Cristiana Pereira, Cristina Borges, Eduardo Ferraz, Fernando Henriques, Fernando Pinho, Giovanni Borsoi, Goreti Margalha, Inês Flores-Colen, Isabel Torres, João Appleton, Jorge Coroado, Jorge de

Brito, Margarida Lima, Marlucci Menezes, Marta Tavares, Miguel Amado, Rosário Veiga, Sandro Botas, Slavka Andrejkovicova, Teresa Cidade, Teresa Gonçalves, Vasco Rato e Vitor Silva.

7. REFERÊNCIAS

- ANDREJKOVICOVA, S.; FERRAZ, E.; VELOSA, A.L.; ROCHA, F. (2012) – Incorporation of sepiolite and zeolite type-A pellets in air lime-metakaolin mortars. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- ANDREJKOVICOVA, S.; FERRAZ, E.; VELOSA, A.L.; SILVA, A.S.; ROCHA, F. (2011) - Fine sepiolite addition to air lime-metakaolin mortars. *Clay Minerals* 46, 621-635.
- BARRA, A.; PINHO, F.; LÚCIO, V. (2012) – Caracterização física e mecânica de argamassas não estruturais com agregados finos reciclados. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- BILLONG, N.; MELO, U.; KAMSEU, E.; KINUTHIA, J.; NJOPWOUO, D. (2011) - Improving hydraulic properties of lime-rice husk ash (RHA) binders with metakaolin (MK). *Construction and Building Materials* 25, 2157-2181.
- BORSOI, G.; VEIGA, R.; SANTOS SILVA, A. (2012) – Consolidação de argamassas históricas de revestimento com produtos compatíveis – avaliação da eficácia. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- BOTAS, S.; RATO, V.; FARIA, P. (2011a) – Influência da quantidade de água de amassadura no comportamento aos ciclos gelo/degelo em argamassas de cal. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Minas Gerais, Belo Horizonte, 17-20 Maio 2011 (CD-rom).
- BOTAS, S.; RATO, V.; FARIA, P. (2011b) - Influence of grain size of aggregate in freeze/thaw cycles of lime mortars. In *Proceedings of the XII DBMC – 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Vol.2, V.P Freitas, H.Corracho, M.Lacasse (eds.), Porto, FEUP, March 2011, 737-744 (ISBN: 978-972-752-132-6).
- BRITO, V.; GONÇALVES, T.D.; FARIA, P. (2011) – Coatings applied on damp substrates: performance and influence on moisture transport. *J. Coating Technology and Research* 8 (4), 513-525.
- BRUNO, P.; FARIA, P.; CANDEIAS, A.; MIRÃO, J. (2010) - Earth mortars use on pre-historic habitat structures in south Portugal. Case studies. *ADECAP, J. Iberian Archaeology* 13, 51-67.
- BRUNO, P.; FARIA, P. (2010) – Os vestígios construtivos de terra do Castro dos Ratinhos. In *O Castro dos Ratinhos (Barragem de Alqueva, Moura). Escavações num povoado proto-histórico do Guadiana, 2004-2007*. Lisboa, Museu Nacional de Arqueologia. Suplemento nº 6 a “O Arqueólogo Português” (ISSN 0874-579x), Luis Berrocal-Rangel e António Carlos Silva, eds., 397-401 (ISBN: 978-972-9257-25-4).
- BUDAK, M.; AKKURT, S.; BOKE, H. (2010) - Evaluation of heat treated clay for potential use in intervention mortars. *Applied Clay Science* 49, 414-419.
- CAMPOS, M.; REIS, A.; TRISTÃO, F.; ROCHA-GOMES, L. (2007) - A utilização da cal conchífera em monumentos históricos no Espírito Santo. Lisboa: LNEC, 2007. In 2º Congresso Português de Argamassas de Construção. Lisboa, APFAC, 22-23 Novembro 2007 (CD-rom).
- CEN (2011) – Cement. Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. EN 197-1:2011, Brussels.
- CEN (2010) – Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar. EN 998-1:2010, Brussels.
- CEN (2010) – Specification for mortar for masonry. Part 2: Masonry mortar. EN 998-2:2010, Brussels.
- CHAROLA, A. E.; FARIA-RODRIGUES, P.; MCGHIE, A. R.; HENRIQUES, F. M. A. (2005) – Pozzolan components in lime mortars: correlating behaviour, composition and microstructure. *Int. J. Restoration of Buildings and Monuments* 11 (2), 111-118.
- CORDEIRO, G.; TOLEDO FILHO, D.; TAVARES, L.; FAIRBAIM, E. (2008) - Pozzolan activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. *Cement and Concrete Composites* 30, 410-418.
- CORINALDESI, V.; MORICONI, G.; NAIK, T. (2010) - Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete. *Construction and Building Materials* 24, 113-117.

- FARIA, P.; AMADO, M.P.; CARTAXO, F. (2011) – Produção local de materiais para a sustentabilidade da construção. Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia (CLME 2011), J. Silva Gomes et al. (Ed.), Maputo, Setembro 2011, 373-378 (ISBN: 978-972-882-623-9).
- FARIA, P.; BRANCO, T.; CARNEIRO, J.; VEIGA, R.; SANTOS SILVA, A. (2012) – Argamassas com base em cal para a reabilitação de rebocos. PATORREB 2012 – 4º Congreso de Patología y Rehabilitación de edificios. Santiago de Compostela, 12-14 Abril 2012.
- FARIA, P.; HENRIQUES, F.M.; RATO, V. (2008) - Comparative evaluation of aerial lime mortars for architectural conservation. *J. Cultural Heritage* 9, 3 (2008), p.338-346.
- FARIA, P.; HENRIQUES, F.; RATO, V. (2007) – Argamassas correntes: influência do tipo de ligante e do agregado. Lisboa: LNEC, 2007. In 2º Congresso Português de Argamassas de Construção. Lisboa, APFAC, 22-23 Novembro 2007 (CD-rom).
- FARIA, P.; MARTINS, A. (2011) – Influence of cure conditions on lime and lime-metakaolin mortars. In *Proceedings of the XII DBMC – 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Vol.2, V.P Freitas, H.Covacho, M.Lacasse (eds.), Porto, FEUP, March 2011, 713-720 (ISBN: 978-972-752-132-6).
- FARIA, P.; SILVA, V.; FLORES-COLEN, I. (2012a) – Argamassas de cal hidráulica natural e pozolanas artificiais: avaliação laboratorial. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra (CD-rom).
- FARIA, P.; SILVA, V.; GRILO, J.; CARNEIRO, J.; BRANCO, T.; MERGULHÃO, D.; ANTUNES, R. (2012b) – Argamassas compatíveis com alvenarias históricas com base em cal hidráulica natural. CIREa2012 – Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas de Alvenaria Antigas. Universidade Nova de Lisboa.
- FARIA, P.; TAVARES, M.; MENEZES, M.; VEIGA, R.; MARGALHA, G. (2010) – Traditional Portuguese techniques for application and maintenance of historic renders. *RILEM Proceedings Pro 078: HMC2010, 2nd Historic Mortars Conference and RILEM TC 203-RHM Final Workshop* (J.Walek, C.Groot, J.Hughes, Ed.). Prague, September 2010, 609-617 (e-ISBN: 978-2-35158-112-4).
- FARIA RODRIGUES, P. (2009) – Resistance to salts of lime and pozzolan mortars. In *RILEM Proceedings Pro 067 – Repair Mortars for Historic Masonry*, C. Groot (Ed.), RILEM Publications on-line, 99-110.
- FARIA RODRIGUES, P. (2005) – Revestimentos de paredes de terra crua / Rendering of raw earth walls. In *Arquitectura de Terra em Portugal / Earth Architecture in Portugal* (M.Fernandes, M.Correia, eds.). Lisboa, Argumentum, 68-73 (ISBN: 972-8479-36-0).
- FARIA RODRIGUES, P. (2004) – Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes. PhD Engenharia Civil – Reabilitação do Património Edificado, Universidade Nova de Lisboa.
- FARIA RODRIGUES, P.; HENRIQUES, F.M. (2004) – Current mortars in conservation: na overview. *Int. J. Restoration of Buildings and Monuments* 10 (6), 609-622.
- FERRAZ, E.; ANDREJKOVICOVA, S.; SANTOS SILVA, A.; ROCHA, F.; VELOSA, A. (2012) – Utilização do ensaio de Chappelle modificado para avaliação da reactividade pozolânica de metacaulinos. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- FIORITI, C.; AKASAKI, J.; SOUSA L.; MARQUES, M. (2012) – Influência de diferentes granulometrias de resíduos de pneus em argamassas. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- FRADE, D.; TADEU, A.; TORRES, I.; AMADO MENDES, P.; SIMÕES, N.; MATIAS, G.; NEVES, A. (2012) – Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- GAMEIRO, A.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, R.; VELOSA, A. (2012a) - Lime-metakaolin hydration products: a microscopy analysis. *Materials and Technology* 46 (2), 13-16.
- GAMEIRO, A.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, R.; VELOSA, A. (2012b) - Hydration products of lime-metakaolin pastes at ambient temperature with ageing. *Thermochimica Acta* (accepted for publication).
- GOMES, M.I.; FARIA, P. (2011) – Repair mortars of rammed earth constructions. In *Int. conf. Durability of Building Materials and Components*, V.P. Freitas, H. Covacho, M. lacasse (Eds.), Porto.
- GOMES, M.I.; GONÇALVES, T.D.; FARIA, P. (2012a) – Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- GOMES, M.I.; GONÇALVES, T.D.; FARIA, P. (2012b) – Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers. *RESTAPIA 2012 – International Conference on Rammed Earth*, Universitat Politècnica de València, Valencia, 21-23 June 2012.

- GOMES, M.I.; GONÇALVES, T.D.; FARIA, P. (2012c) – Unstabilised rammed earth: characterisation of material collected from old constructions in south Portugal and comparison to normative requirements. *Int. J. architectural Heritage* (em publicação).
- GOMES, M.I.; GONÇALVES, T.D.; FARIA, P. (2012d) – Influence of water content in the workability of earth-base repair mortars. *Revista Apuntes* (artigo aceite).
- GONÇALVES, P.; FRADE, D.; TADEUBRITES, J. (2012) – Argamassas térmicas. Uma solução no cumprimento do RCCTE. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- GONILHO-PEREIRA, C.; MARTINS, A.; FARIA, P.; FANGUEIRO, R. (2012) – Avaliação da introdução de resíduo da indústria têxtil em argamassas. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- HENRIQUES, F.; CHAROLA, E.; RATO, V.; FARIA, P. (2007) – Development of biocolonization resistant mortars: preliminary results. *Int. J. Restoration of Buildings and Monuments* 13(6), 389-400.
- HENRIQUES, F. M. A.; RATO, V.; FARIA-RODRIGUES, P. (2005) – Evaluation of salt resistant mortars. *Int. J. Restoration of Buildings and Monuments* 11 (2), 105-110.
- IDIR, R.; CYR, M.; TAGNIT-HAMOU, A. (2010) - Use of fine glass as ASR inhibitor in glass aggregate mortars. *Construction and Building Materials* 24, 1309–1312.
- IPQ (2011a) – Cimento de alvenaria. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade. NP EN 413-1:2011. Caparica.
- IPQ (2011b) – Cal de Construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade. NP EN 459-1: 2011. Caparica.
- IPQ (2010) – Pozolanas para betão, argamassas e caldas. Definições, requisitos e verificação d conformidade. NP 4220: 2010. Caparica.
- MALTA SILVEIRA, P.; VEIGA, R.; BRITO, J. (2007) – Gypsum coatings in ancient buildings. *Construction and Building Materials* 21 (1), 126-131.
- MATIAS, G.; FARIA, P.; TORRES, I.; TOMÁS, A.; FERREIRA, T.; DUARTE, T. (2012) – Argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- PEDRO, D.; VEIGA, R.; BRITO, J. (2012) – Desempenho de argamassas com materiais finos provenientes da trituração de pneus. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, U. Coimbra, 29-30 Março 2012 (CD-rom).
- PONTES, J. (2011) - Reactividade de pozolanas para argamassas e betões. MSc Engenharia Civil, FCT Universidade Nova de Lisboa.
- SAIKIA, N.; BRITO, J. (2012) – Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: a review. *Construction and Building Materials* 34, 385-401.
- SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, R. (2010) – Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production. *J. Materials in Civil Engineering* 22 (3), 236-244.
- SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, R. (2009) – Incorporation of fine ceramics in mortars. *Construction and Building Materials* 23 (1), 556-564.
- SU, N.; FONG, H.; CHEN, Z.; LIU, F. (2000) – Reuse of waste catalysts from petrochemical industries for cement substitution. *Cement and Concrete Research* 30, 1773-1783.
- VEIGA, R. (1997) - Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contributo para o estudo da sua resistência à fendilhação. PhD Eng. Civil, FE Universidade do Porto.
- VEIGA, Rosário; FARIA, Paulina (1990) – Revestimentos de ligantes minerais e mistos com base em cimento, cal e resina sintética. In *Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes*. 1º Módulo. Lisboa, LNEC, 40-173.
- VEIGA, R.; FRAGATA, A.; VELOSA, A.; MAGALHÃES, A.; MARGALHA, G. (2010) – Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings. *Int. J. of architectural heritage* 4 (2), 177-195.
- VEIGA, R.; VELOSA, A.; MAGALHÃES, A. (2009) - Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: Characterization and performance evaluation. *Construction and Building Materials* 23, 318–327.
- VELOSA, A.L. (2007) - Argamassas de cal com pozolanas para alvenarias antigas). PhD Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.
- VELOSA, A.; COROADO, J.; VEIGA, R.; ROCHA, F. (2007) – Characterization of roman mortars from Conímbriga with respect to their repair. *Materials Characterization* 58 (11-12), 1208-1216

VELOSA, A.; ROCHA, F.; VEIGA, R. (2009) – Influence of chemical and mineralogical composition of metakaolin on mortar characteristics. Acta Geodyn. Geometer 6, 1 (153), 121-126.

VENTOLÀ L.; VENDRELL, M.; GIRALDEZ, P.; MERINO, L. (2011) - Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics. Construction and Building Materials 25 (8), 3313-3318.